

---

# **Чернобыльская авария и опыт ее преодоления**

Н. Штейнберг

---

8-ое заседание Комиссии государств – членов СНГ по использованию атомной энергии в мирных целях, Ереван, 28-29.09.06

- 
- Причины и обстоятельства аварии на Чернобыльской АЭС привлекают к себе внимание в силу ее масштабов, последствий для здоровья, окружающей среды, для настоящего и будущего атомной энергетики.
  - Авария, ее последствия и действия по их преодолению имеют технический, социально - экономический, политический и другие аспекты.
  - Анализ коренных причин событий 20-летней давности и действий по преодолению ее последствий, полезны, если результаты анализа используются для предотвращения событий, которые даже в малейших масштабах могут привести к тому, что мы уже пережили.

# Технические причины аварии

- Реакторная установка в состоянии физической и теплогидравлической неустойчивости, которое было предопределено действиями персонала. Достаточно было незначительного возмущения, чтобы нарушить неустойчивое состояние.
- Ввод в действие системы аварийной остановки реактора - непосредственный импульс возникновения аварии. Порочная конструкция СУЗ привела к вводу в реактор положительной реактивности и началу разгона мощности.
- Большой паровой коэффициент реактивности, который был присущ реакторам РБМК, привел к катастрофическому масштабу разгона. Влияние этого эффекта особенно велико на начальном этапе парообразования в активной зоне (режим малой мощности).

- **Недостатки РБМК-1000 были известны.** Положительный выбег реактивности зафиксирован при пусковых испытаниях блока №1 ИАЭС и блока №4 ЧАЭС. Существовали планы модернизации РБМК.
- **Персонал не был ознакомлен** с рядом важнейших для безопасности реактора РБМК-1000 характеристик, не имел достоверной информации о состоянии реакторной установки.
- **Реактор был обречен** в силу своих характеристик и лишь ждал реализации соответствующих исходных условий. 26 апреля 1986 года эти условия были созданы действиями персонала;
- **Ответственности за безопасность АЭС** научный руководитель и генеральный конструктор не несли. Эксплуатирующей организации, несущей полную ответственность за безопасность, не существовало. В стране отсутствовала, включая высший государственный, уровень, “культура безопасности”.
- **Проблемы безопасности были недооценены.** Меры, которые могли предотвратить катастрофу, реализованы не были.

**АВАРИЯ НА ЧАЭС - ГОРЬКИЙ ОПЫТ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ.**

# Политические причины аварии

- Достижения ядерной науки и техники СССР, особенно в военной области, непомерно политизировались. Причины и обстоятельства аварий скрывались.
- Отсутствовал независимый контроль ядерной деятельности.
- Настроения непогрешимости: “советские ядерные реакторы - лучшие в мире”, “при социализме такая авария невозможна” (реакция на аварию на АЭС «Three Mile Island», США, 1979).
- Политический престиж государства доминировал и подавлял основное условие мирного использования ядерной энергии - обеспечение ее безопасности.

---

# Экономические причины аварии

- Атомная энергетика испытывала хроническую нехватку средств, присущую народному хозяйству СССР (прикладные исследования в обоснование безопасности и надежности, экспериментальная отработка оборудования и т.д.).
- Отсутствие экспериментальной стендовой базы, современной вычислительной техники, исследований и технологии обращения с РАО и ОЯТ, качественной дозиметрической аппаратуры, тренажеров - все это проявилось как при аварии, так и в ходе ликвидации ее последствий.

## Пост - аварийные действия

- Масштабы аварии превзошли все, что можно было представить, и не могли быть учтены в аварийных планах.
- Потенциал гигантской тоталитарной системы и профессионализм позволили преодолеть аварию и решить небывалые задачи.
- Выполнены дезактивация, ремонтно-восстановительные работы и повторно введены в эксплуатацию три энергоблока ЧАЭС.
- За 5 месяцев спроектирован и построен «Саркофаг» («Укрытие»).

- 
- Победили “разбушевавшийся атом” в апреле - мае 1986 года, когда с ходу вступили в бой гражданские и военные специалисты, взяли ситуацию под контроль и справились с управлением аварией.
  - Победа была предрешена нашим воспитанием и философией: “а нам нужна одна победа, одна на всех - мы за ценой не постоим”.
  - Допускались ошибки, многое делалось не оптимально, но уже нет возможности изменить то, что было: “... никто пути пройденного у нас не отберет ...”



# Последствия аварии – мнимые и фактические

- Авария на ЧАЭС нанесла ущерб здоровью людей, привела к жертвам среди персонала и пожарных в первые часы после аварии, к социальным и экономическим потерям.
- Не вызывает сомнения пагубное действие высоких доз ионизирующего облучения на здоровье человека. Это очевидно и не требует обсуждения.
- Продолжается, прежде всего в среде не специалистов, обсуждение влияния малых доз на здоровье человека.
- Все изменения в здоровье «ликвидаторов» и «переселенцев» трактуются как результат действия ионизирующей радиации. Это усиленно «вдалбливается» в сознание людей, насаждается синдром жертвы, подавляющий волю, способность нормально жить и трудиться.

- Показано исследованиями и опытом конкретных людей - в значительной степени патологии у «ликвидаторов» не имеют особенностей в сравнение с аналогичной патологией «чистого» населения, и не зависят от дозы.
- Решающее влияние оказывают социально-экономическая среда и психологическое состояние. Люди с ослабленной психикой (сильных личностей мало) под давлением некорректной и откровенно лживой информации, находятся в хронически стрессовой ситуации.
- Во ряде случаев время работы в аварийной зоне, доза облучения и инвалидность, состояние здоровья никак не связаны одно с другим.

**Результат:** в условиях ограниченных ресурсов помощь далеко не всегда оказывается тем, кто в этом нуждается.

- 
- Анализ - не самоцель. Главное - извлечение уроков, предотвращение возможности аварии с серьезными последствиями и готовность преодолеть аварию с минимальными потерями, если ее не удастся предотвратить. Важно понять:
    - Почему стало возможным то, что произошло?
    - Почему принимались не оптимальные решения?
    - Что и как нужно делать, если придется?
  
  - Опыт преодоления аварии изучен плохо. Практических указаний мало.

**Последующие мысли автора субъективны, но это попытка  
подойти к решению проблемы**

---

## **“Стратегия (греч.) – наука о войне, учение о лучшем расположении и употреблении всех военных сил”.**

- Стратегия – не набор мероприятий, а система, которая должна обеспечить достижение целей при наилучшем использовании сил и средств с учетом накладываемых ограничений. Стратегия не должна, как минимум, противоречить законодательным и нормативным требованиям по ядерной и радиационной безопасности.
  
  - Стратегия управления аварией и ликвидации ее последствий:
    - Цели
    - Возможности достижения поставленных целей
    - Риски, связанные с реализацией
  
  - Несколько вариантов, из которых надо выбрать лучшие.
-

---

## **Методологии оценки:**

- ❑ многокритериальный метод (multicriteria),
- ❑ комплексный метод (aggregative),
- ❑ анализ “затраты-выгода” (cost-benefit analysis),
- ❑ анализ приращения стоимости (incremental cost analysis).

## **Принципиально для разработки и оценки :**

**ВМЕШАТЕЛЬСТВО**

**ИЛИ**

**практическая деятельность.**

---

**Практическая деятельность** - использование источников ионизирующего излучения, направленное на достижение материальной или другой выгоды, которая приводит или может привести к контролируемому и предвиденному:

- некоторому увеличению дозы облучения; и/или
- созданию дополнительных путей облучения; и/или
- увеличению количества людей, подвергающихся облучению; и/или
- изменению структуры путей облучения от всех, связанных с этой деятельностью источников.

**Может увеличиваться доза, вероятность облучения, или количество облучаемых людей.**

---

**Вмешательство** - деятельность, которая всегда направлена на снижение и предотвращение неконтролируемого и непредвиденного облучения или вероятности облучения в ситуациях:

- аварийного облучения (острого, краткосрочного или хронического);
- хронического облучения от источников природного происхождения, усиленных техногенной деятельностью;
- определенных регулирующим органом, как требующих вмешательства.

---

# ПРИНЦИП ОПРАВДАННОСТИ

**Практическая деятельность** - не должна осуществляться, если она не приносит большей пользы облученным лицам или обществу в целом в сравнении с ущербом, который она наносит.

**Вмешательство** - польза от контрмеры должна быть больше, чем суммарный ущерб (медицинский, экономический, социально-психологический и т.д.), связанный с проведением вмешательства.



---

# ПРИНЦИП НЕПРЕВЫШЕНИЯ

**Практическая деятельность** - уровни облучения от всех значимых видов практической деятельности не должны превышать установленные лимиты доз.

**Вмешательство** - должны быть применены меры для ограничения индивидуальных доз облучения на уровне ниже порога детерминистических радиационных эффектов, особенно порогов острых клинических радиационных проявлений.

*(МКРЗ - 60 воздерживается от рекомендации пределов доз для вмешательства, но при действиях по спасению жизни эффективная доза не должна превышать 500 мЗв).*

---

# ПРИНЦИП ОПТИМИЗАЦИИ

**Практическая деятельность** - уровни индивидуальных доз и/или количество облученных лиц по отношению к каждому источнику излучения должны быть настолько низкими, насколько это может быть достигнуто с учетом экономических и социальных факторов

**Вмешательство**, его масштабы и продолжительность должны выбираться таким образом, чтобы разница между суммарной пользой и суммарным ущербом была не только положительной, но и максимальной

---

## **Ситуация 1986 года - объединение целей двух видов деятельности:**

- **практическая деятельность**, направленная на получение выгоды – ввод в эксплуатацию энергоблоков Чернобыльской АЭС
- **вмешательство**, направленное на снижение и предотвращение неконтролируемого и непредвиденного облучения или вероятности облучения персонала и населения в условиях управления аварией и ликвидации ее последствий

---

Оправданы ли были масштабы вмешательства и практической деятельности в 1986 и последующие годы?

Нет объективных исследований и нет объективного ответа. И, по всей видимости, уже и не будет

- 
- **Принцип не превышения** - в условиях 1986 года соблюдение этого принципа для «практической деятельности» было не возможно и вело к увеличению коллективной дозы. Были введены временные пределы.
  - После завершения **”острой” фазы** можно было выполнять работы в рамках «обычных» пределов при соответствующей подготовке и детально проработанных (оптимизированных) мерах радиационной защиты.
-

---

**Оптимизация в практической деятельности – это оптимизации радиационной защиты (РЗ).**

**РЗ – совокупность радиационно-гигиенических, проектно-конструкторских, технических и организационных мероприятий, направленных на обеспечение радиационной безопасности (параметром уровня защиты могут служить, например, толщина защиты, расход воздуха, варианты средств защитного оборудования и т.д.).**

---

---

$$B = V - (P + X + Y)$$

где:

- **B** - чистая польза,
- **V** - полная польза (выгода) от какого либо вида деятельности,
- **P** - затраты на производство, за исключение затрат на РЗ,
- **X** - затраты на достижение выбранного уровня радиационной безопасности,
- **Y** - ущерб, связанный с данным видом деятельности при выбранном уровне РЗ.

Оптимизация РЗ, как правило, ограничивается минимизацией суммы  $(X + Y)$  как функции параметра РЗ и, таким образом, максимизации чистой пользы. Предполагается, что в большинстве практических случаев **V** и **P** не зависят от параметра РЗ.

- Оптимизация для «вмешательства» - оптимизация собственно деятельности (формы вмешательства, его масштабы и продолжительность).
- Из возможных вариантов вмешательства должен быть выбран тот, для которого разница между суммарной (полной) пользой ( $V$ ) и суммарными затратами ( $P+X+Y$ ) не только положительна, но максимальна ( $B = V - (P+X+Y) = \max$ ).



- Принципы РЗ создают хорошую основу для анализа при выборе оптимального варианта Стратегии. Критическая проблема - достоверные данные для расчета “суммарной пользы”.
- Другая проблема - определение «ущерба», который включает вред для здоровья, экономические, социально-политические и другие потери. Определения и методики определения социально-политических и других потерь отсутствуют в нормативных документах.
- Необходимы методики оценки политических, социально-экономических, социально-психологических, других факторов влияния, независимо от того будут ли они оцениваться по категории «польза» или по категории “затраты” («ущерб»).

---

## **Вопросы, на которые пока нет ясных ответов:**

- Где заканчивается управление аварией и начинается ликвидация ее последствий? Какова цель ликвидации последствий?
- Когда заканчивается вмешательство и начинается практическая деятельность?
- Как определить приобретенную выгоду и понесенные затраты?
- Как определить лучшую Стратегию при совмещении практической деятельности и вмешательства?

---

# Разработка Стратегии и комплексная оценка

- Определение целей и объекта комплексной оценки.
- Определение альтернативных вариантов.
- Сбор данных.
- Разработка методологии комплексной оценки.
- Предварительная оценка предложенных вариантов.
- Выполнение комплексной оценки, выбор лучших вариантов.
- Ранжирование вариантов.

---

Аварии не дают времени на «классические» исследования, длительные разработки, формирование БД, создание методов оценки и т.д.

Необходима разработка упрощенных методик (подходов).

Методики (подходы) должны быть разработаны «до», а «не после».

---

---

## Возможный подход (для размышления)

- **Риск** - в самом общем виде  $R = V * P$ . Приемлемый уровень риска зависит от социально- политической и экономической ситуации.
- **Различные последствия** - различные риски.
- **Масштабы и глубина оценок** - настолько сложны, насколько это практически оправдано.
- **Характерные (специфические) риски** - химическое производство, ядерная энергетика, тепловая энергетика и т.д.
- **Снижения радиологического риска** – «наша» выгода. Мы должны остановиться на этом. «Другие» выгоды – за пределами наших полномочий.

# Количественная оценка «радиологической» выгоды

- **Выгода** - величина снижения радиологического риска.
  
- **Оценка по цепочке:**
  - выбросы и сбросы (В/С);
  - активность (концентрация) радионуклидов в объектах ОС (вода, воздух, почва, продукты питания и т.д.) / мощность дозы;
  - доза / коллективная доза;
  - эффект.

---

## Выбросы/сбросы (В / С)

- Не могут адекватно отражать радиологический риск, поскольку одно и то же количество радионуклидов поступающих в ОС не всегда приводит к одинаковому эффекту.
- Формируемая В / С активность радионуклидов в ОС и/или мощность дозы зависят от таких факторов как рассеивание (воздух), разбавление (вода) и концентрирование (например, в пищевых цепочках) радионуклидов.

---

**Активность (концентрация) радионуклидов в ОС -**  
не является корректным показателем оценки риска.

Формируемая доза зависит от многих факторов и не связана прямо с активностью нуклидов в ОС.

**Мощность дозы -** используется при планировании мер РЗ, но проблематична для оценки риска, поскольку доза, полученная человеком, зависит от времени нахождения в «полях», наличия средств индивидуальной защиты и т.д.



---

**Доза** - можно достаточно точно оценить дозу, полученную как одним человеком, так и группой лиц (коллективная доза). Поглощенная доза является в выражении эквивалентной дозы параметром, который непосредственно определяет воздействие ионизирующего излучения на человека.

**Эффект** - оценивается с использованием показателей смертности (уровня смертности по отношению к численности населения), вероятности возникновения рака, генетических нарушений.

- 
- “Выгода” от реализации Стратегии, должна оцениваться по снижению радиологического риска для человека.
  - Это сложная задача, поскольку эффект для здоровья человека определяется не только накопленной дозой, но и ее временным распределением, возрастом, условиями жизни и т.д.
  - Принципиально возможно проведение соответствующих расчетов с применением сложных моделей, но это связано с большими затратами и неопределенностями.

---

## **РАО и вывод из эксплуатации**

- Обращение с РАО ядерной энергетики не требует отдельного оправдания, если такая деятельность включена в обоснование самой ядерной энергетики.
- В полном объеме затраты на обращение с РАО не учитывались при оправдании ядерной энергетики СССР.
- Не могут быть учтены фактический состав и объемы РАО, которые появляются в результате аварии.

---

## **РАО и вывод из эксплуатации (продолжение)**

- Не накоплены фонды обращения с РАО и вывод из эксплуатации ядерных установок.
- Отсутствуют методики определения затрат на обращение с РАО и вывод из эксплуатации ядерных установок.
- Затраты на управление аварией и ликвидацию ее последствий ложатся на бюджет государства, а не на себестоимость электроэнергии, производимой АЭС.

---

## Рекомендации

- Оценку вариантов Стратегии осуществлять по результатам анализа “затраты - выгода” и качественным критериям.
- Количественно выгоду оценивать по величине снижения радиологического риска, выраженного в монетарных единицах.
- Радиологический ущерб оценивать по величине коллективных доз персонала и населения.
- Для целей анализа принимать сценарий с наиболее тяжелыми последствиями.

---

## Рекомендации (продолжение)

- Затраты рассчитывать на основе капитальных и эксплуатационных затрат.
- Совершенствовать Методики оценок и качество банков данных - определяют возможность проведения корректной оценки и будут влиять на принятие решения по выбору оптимальной Стратегии.
- Снизить неопределенности - значительные неопределенности ведут к ошибочным (необоснованным) решениям.

---

## Рекомендации (продолжение)

- Необходимо разработать простые методики оценки и выбора оптимального варианта Стратегии ликвидации последствий радиационной аварии, утвердить их на государственном уровне.

**Разработка методик оценки и выбора оптимального варианта Стратегии ликвидации последствий радиационной аварии может быть задачей комиссии СНГ по использованию атомной энергии в мирных целях.**